

УДК 621.396.67(07)

ББК 32.845я73

К289

*Печатается по решению кафедры радиотехнических
и телекоммуникационных систем Института радиотехнических систем
и управления Южного федерального университета
(протокол № 10 от 16 мая 2023 г.)*

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры
радиоэлектроники Донского государственного технического университета

М. Ю. Звездина

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информатики
и информационных таможенных технологий Ростовского филиала

Российской таможенной академии *П. Н. Баилы*

Касьянов, А. О.

К289 Проектирование отражательных антенных решеток : учебное по-
собие / А. О. Касьянов ; Южный федеральный университет. – Ростов-
на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального универси-
тета, 2023. – 170 с.

ISBN 978-5-9275-4532-2

Учебное пособие посвящено вопросам проектирования микрополосковых
отражательных антенных решеток, использующих технологию изготовления объ-
емных интегральных микросхем (ОИС) СВЧ. Большинство вопросов, подробно
рассмотренных в данном пособии, ранее в учебной литературе не рассматривались
и освещались лишь в периодических изданиях и трудах научных конференций, ко-
торые были практически недоступны студентам.

Целесообразность издания настоящего пособия, имеющего междисципли-
нарный характер, обусловлена необходимостью обеспечения учебного процесса
по образовательным программам бакалавриата и специалитета по дисциплинам
«Электроника» и «Специальные радиоэлектронные устройства».

Пособие предназначено для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлек-
тронные системы и комплексы» и студентов направления подготовки 11.05.02
«Инфокоммуникационные технологии».

УДК 621.396.67(07)

ББК 32.845я73

ISBN 978-5-9275-4532-2

© Южный федеральный университет, 2023

© Касьянов А. О., 2023

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1. ПРИНЦИП РАБОТЫ, ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ОАР	10
1.1. Общие положения	10
1.2. Принцип действия микрополосковой ОАР	12
1.3. Направленные свойства микрополосковых ОАР	17
1.4. Диапазонные свойства микрополосковых ОАР	20
1.5. Достоинства микрополосковых ОАР	23
1.6. Перспективы развития технологии печатных ОАР	30
Выводы по разделу 1	41
2. ПРИМЕНЕНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ОАР	44
2.1. Общие положения	44
2.2. Отражательные антенные решетки	45
2.3. Переизлучатель и единичная ячейка ОАР	49
2.4. Микрополосковый элемент резонаторного типа	50
2.5. ОАР на основе двухрезонансных микрополосковых элементов в виде квадратных пластин, помещенных в центрах печатных рамок ...	61
2.6. Проектирование отражательной антенной решетки в целом на основе характеристик рассеяния составляющих её элементов	66
2.7. Сравнение характеристик рассеяния отражательной антенной решетки и проводящего плоского экрана	76
2.8. Учет конструкционных элементов крепления облучателя	81
2.9. Выявление дефектов конструктивного исполнения антенных элементов отражательных решеток и их устранение	84
Выводы по разделу 2	89
3. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ИХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	91

3.1. Применение метода интегрального уравнения при разработке математической модели отражательной антенной решетки	91
3.2. Пример применения метода ИУ к отысканию тока на прямоугольном микрополосковом элементе ОАР	97
Выводы по разделу 3	106
4. ФАЗОКОРРЕКТИРУЮЩИЙ ПЛОСКИЙ РЕФЛЕКТОР, ВЫПОЛНЕННЫЙ В ВИДЕ ПЕЧАТНЫХ КОЛЕЦ	107
4.1. Общие положения	107
4.2. Численный анализ отражательного фазовращателя из состава ОАР	109
4.3. Проектирование рефлектора и результаты экспериментальной верификации	116
Выводы по разделу 4	119
5. СПИРАФАЗНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ФАЗИРОВАННЫХ И ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК	120
5.1. Принцип спирафазности в технике ФАР и ОАР	120
5.2. Пример спирафазной отражательной решетки печатных элементов	120
5.3. Пример плоской спирафазной печатной отражательной решетки, выполняющей функции фокусирующей плоской радиолинзы	122
5.4. Всенаправленная по азимуту свернутая микрополосковая ОАР	124
5.5. Спиралфазные рупорные излучатели кольцевых ФАР фазового пеленгатора	129
Выводы по разделу 5	143
6. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ КОНСТРУКТИВНОГО СИНТЕЗА МИКРОВОЛНОВЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	146
6.1. Схема построения и краткая характеристика программного комплекса в целом	146
6.2. Конструктивный синтез микрополосковых ОАР	148
6.3. Численный пример	151

Содержание

6.4. Экспериментальное исследование макетов зеркальных антенн с плоскими ФКР	156
Выводы по разделу 6	158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	159
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	161